

大功率激发极化法在额尔古纳成矿带中段找矿中的应用

李帝铨, 王光杰, 底青云, 付长民, 石昆法, 李英贤

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘 要 工区位于额尔古纳中段的铜-铅-锌-银-钼-铀成矿带. 自上世纪 80 年代在该区发现化探异常以来, 一直没有找到主矿体. 为了解决该区的找矿问题, 在充分研究工作区的地质、地球物理特征前提下, 采用了大功率激发极化中梯装置和激发极化测深相结合的方法进行勘察. 在 12 线 758 点布置了一个倾斜度为 83° 的钻井, 并在 100 m 左右深度见到了浸染状矿体. 证实了分析的正确性, 达到了找矿目的.

关键词 大功率激电, 激电测深, 额尔古纳成矿带

中图分类号 P631

文献标识码 A

文章编号 1004-2903(2007)05-1621-06

The application of high-power induced polarization in the middle section of eerguna metallogenic belt

LI Di-quan, WANG Guang-jie, DI Qing-yun, FU Chang-min, SHI Kun-fa, LI Ying-xian

(Institute of Geology and Geophysics Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract The work area located in the middle section of Eerguna metallogenic belt. Since the day when geochemical anomalies be found in 1980s, there is less production. According to the geologic and geophysical characteristics in the study area, we chose appropriate methods and technique, and accurately understanding the geologic and geophysical significance of the anomaly, obtaining a relative ideal result for Pb/Zn mine prospecting. By drill-hole exploration at point 758 in line 12, it is verified that the relative ideal commercial Pb/Zn mine occurred in the depth around 100m. The analytic reliability is confirmed and confirmation the work reaches its aim.

Keywords High-power induced polarization, Induced polarization sounding, Eerguna metallogenic belt

0 引 言

激发极化法是探测金属矿的最有效方法之一. 在过去的近半个世纪里, 为我国的找矿事业作出了巨大的贡献, 不仅找到了大量的铜、铅、锌、钼等各类有色金属矿床, 而且在寻找贵金属黑色金属、稀有金属等矿床方面, 也发挥了重要作用^[1~12]. 在直接找油气的物探方法中, 激发极化法作为一类重要的非地震地球物理方法, 也越来越受到人们的重视与关注^[13~15].

随着社会经济的发展, 野外电法勘探中的人文干扰越来越严重; 随着勘探深度加大, 需要强信号才

能有效的反映深部地电信息. 因此发射功率小、信号弱的传统激电方法已不能满足要求^[12].

大功率激电方法可以输出较强的电流, 压制各种干扰信号, 提高信噪比. 在大极距下保证观测精度, 因而具有相当大的勘探深度. 在近年来的金属矿产勘查中, 特别是在寻找隐伏矿和深部矿的新一轮找矿中, 激电方法发挥了重要作用并取得了良好的找矿效果^[16~19].

工作区位于额尔古纳中段的铜-铅-锌-银-钼-铀成矿带^[20]. 自上世纪 80 年代发现化探异常以来, 该区的找矿工作时断时续, 由于投资不足, 多年的找矿工作没有取得实质性进展. 直到 2005 年, 利用小功

收稿日期 2006-11-15; 修回日期 2007-03-14.

基金项目 中国科学院工程地质力学重点实验室项目资助.

作者简介 李帝铨, 男, 1982 年生, 现为中国科学院地质与地球物理研究所研究生, 主要从事浅层地球物理研究.

(E-mail: lidiquan@iggcas. ac. cn)

率激电异常确定的探槽验证了化探异常,银、铜的含量也都达到了工业品位.由于以前投资的不到位,对区内矿脉具体的分布、走向以及区内是否有品位更高的矿脉,都不了解.为了深部找矿和扩大找矿成果,在区内采用了大功率激电中梯和激电测深方法进行了找矿的研究工作.

1 工作区地质及地球物理特征

1.1 地质特征^[21]

工作区位于中蒙额尔古纳元古代至早寒武世变质地体南东缘,得尔布干中蒙深断裂带北西侧.所在构造单元南东侧为兴蒙晚古生代岛弧地体,北西侧以土库林格拉阿津斯克弧型断裂为界,与蒙古鄂霍茨克带为邻,是夹持于西伯利亚板块与中朝板块之间的中部亚洲造山带中众多微板块之一.由于板块间的长期磨擦和多次碰撞、拼接增生作用,造成了本区地壳破碎并具有高渗透性.

工作区在中生代中期伴随太平洋板块向欧亚大陆板块的俯冲导致本区发生大规模的剪切作用,形成一系列深断裂,并与古断裂贯通,为幔源物质上涌提供了良好的通道,为大规模火山岩浆作用和成矿作用创造了有利的空间条件.

工区分布的岩性主要为流纹岩、砂砾岩、流纹斑岩和碎屑角砾岩.

1.2 地球物理特征

根据在工区所采集的岩(矿)石标本测定结果(表1)可以看出,铅锌矿化的碎屑角砾岩以及锰帽都具有较高的极化率,其平均值都达到5.1%以上,其中铅锌矿化的碎屑角砾岩最高,平均值为7.1%,极大值达到9.2%.其它几种岩石极化率较低,为1~3%左右,最低的是砂砾岩,只有0.4~1.0%.流纹斑岩的电阻率高,平均值为2113 Ω·m,极大值达到3235 Ω·m.铅锌矿化的碎屑角砾岩为低电阻率,砂砾岩、石英斑岩、流纹岩以及锰帽的电阻率较低,其中锰帽最低,极小值为1.7 Ω·m.但锰帽在区内的分布较少.

经过地质专家和前人的工作,排除了该区存在石墨化地层和碳质板岩的可能,从而排除了石墨化地层和碳质板岩引起非矿异常的可能.

这说明在该区进行激电工作具备充分地地球物理前提.

表 1 工作区岩(矿)石电参数统计表
Table 1 Statistics of electrical parameter of the rock samples

岩矿石名称	标本块数	$\eta(\%)$		$\rho(\Omega \cdot m)$	
		均值	变化范围	均值	变化范围
石英斑岩	6	1.2	0.7~1.5	201	168~236
流纹岩	5	2.6	2.0~3.0	103	10~310
流纹斑岩	5	2.2	1.6~2.6	2113	1481~3235
碎屑角砾岩	3	7.1	4.4~9.2	166	148~242
锰帽	3	5.1	2.0~8.1	2.9	1.7~3.5
砂砾岩	5	0.62	0.4~1.0	74.7	43.2~148.3

2 大功率激电中梯和激电测深的应用与效果

2.1 大功率激电野外工作^[22]

2.1.1 工作装置与电极距

利用激电中梯装置圈定含矿异常,发现异常后利用激电测深对中梯异常进行解剖,以了解矿体产状、埋深及连续性.为了达到深部找矿的目的,确定采用中梯方法时供电电极距AB为1 800~2 400 m,测线长度1 000 m,线距100 m,点距20 m.采用激电测深方法时,AB/2最小为3 m,最大为1 000 m.

2.1.2 电流要求^[23]及供电设备

当工作地区的干扰比较小时,为了保证观测数据的精度,在直流激电法中要求二次场电位差不小于0.5 mV,由视电阻率的计算式

$$\rho_s = K \frac{\Delta U}{I},$$

可写出

$$I \geq \frac{K \cdot \Delta U}{\rho_s},$$

(1)

而

$$\Delta U = \frac{\Delta U_2}{\eta_s},$$

(2)

所以

$$I = \frac{\Delta U_2 \cdot K}{\eta_s \cdot \rho_s}.$$

(3)

将中梯的装置系数

$$K = \pi \frac{AM \cdot AN}{MN}$$

代入(3)式,得

$$I = \pi \frac{\Delta U_2 \cdot AM \cdot AN}{\eta_s \cdot \rho_s \cdot MN},$$

(4)

取

$$AB = 1\,800\text{ m},$$
$$MN = 20\text{ m},$$

$$\eta_s = 4\%,$$
$$\rho_s = 100\ \Omega \cdot \text{m}.$$

则由(4)式算得供电电流必须达到 15A 以上. 为了保证工作电流达到 15A 以上,我们采用了多项措施. 采用了加拿大凤凰公司的 T15 大功率发射机,发射功率高达 15 kW. AB 极除了挖深埋埋铝箔纸之外,每边还并联了 15 根经过打磨的电极,并浇上大量盐水,以此来降低接地电阻. 整个回路接地电阻一般小于 50 $\Omega \cdot \text{m}$,从而提高了供电电流.

激电测深时,也尽量加大供电电流,以提高二次场电位差. 保证观测精度.

供电时间为 2 s, 占空比为 1:1, 周期为 8 s. 测量断电后 100 μs 延时后的四块面积, 积分区间为 100, 200, 400, 800 μs . 本次成图的为第一块面积.

2.1.3 野外观测采取的技术措施

该地区较为干旱,接地电阻很大,使测量电极电位差不稳定. 为了获得可靠的观测结果,相应采取了一些措施:在 MN 测量电极处坚持浇水,减小了因接地不好引起的电极极化效应,使 MN 电极间的电位差稳定,保证了测量的精度;增加重复观测次数,以获得可靠的信息. 做激电测深时,两部仪器同时测量,当两部仪器的读数一致时,才记录数据.

2.2 物探异常特征及推断解释

在工作区,采用大功率激电中梯先做了 12 条剖面(3 线、0 线、4 线、8 线、12 线、16 线、20 线、24 线、28 线、32 线、36 线、40 线),后来为了封闭异常,在 3 线以南又加了 4 条剖面(7 线、11 线、15 线、19 线).

图 1 和图 2 分别为计算得到的电阻率异常平面等值线图. 图中同时标出了地层分界线和异常范围等信息. 由图 1 和图 2 可见,该区内发现大规模与测线垂直展布的高极化率异常,强度高达 16%,整个高极化率异常延伸 1 500 m,在测区内仍未封闭. 极化率主异常分布于异常图的中间位置,右侧极化率偏小. 从地质专家及前人的工作,结合我们的岩(矿)石标本测定的电性资料,认为高极化、低电阻率(小于 200 $\Omega \cdot \text{m}$)在该区代表矿化或矿体,低极化率一般为未矿化的流纹岩或砂砾岩.

结合地表地质资料和前人工作,低极化率区与未矿化的砂砾岩区(图 1、图 2 中岩层分界线右边以及左上角部分)有很好的对应关系.

电阻率异常图在岩性分界的位置显示出与极化率异常图的高度一致. 在主异常区域,极化率最高的位置对应低电阻率,且走向与高极化率带延伸方向

一致. 这也说明主异常带的矿化活动强烈,改变了局部岩石结构和物理性质,使得电阻率降低.

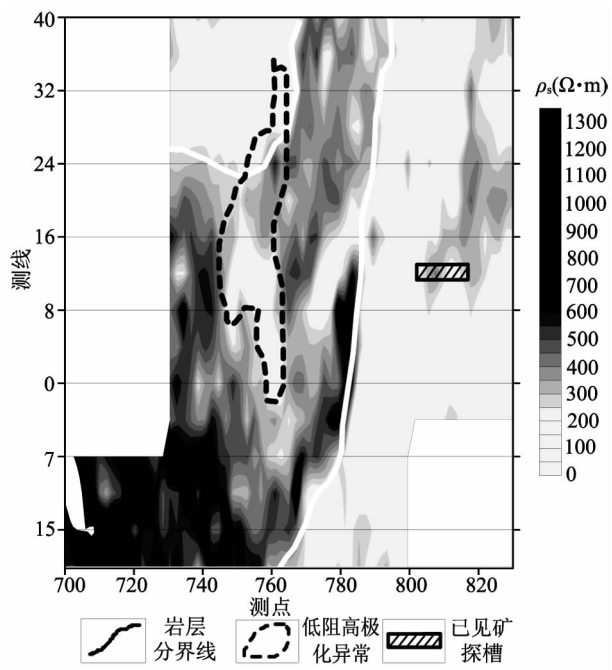


图 1 电阻率异常平面等值线图
Fig. 1 Isoclines map of theanomaly

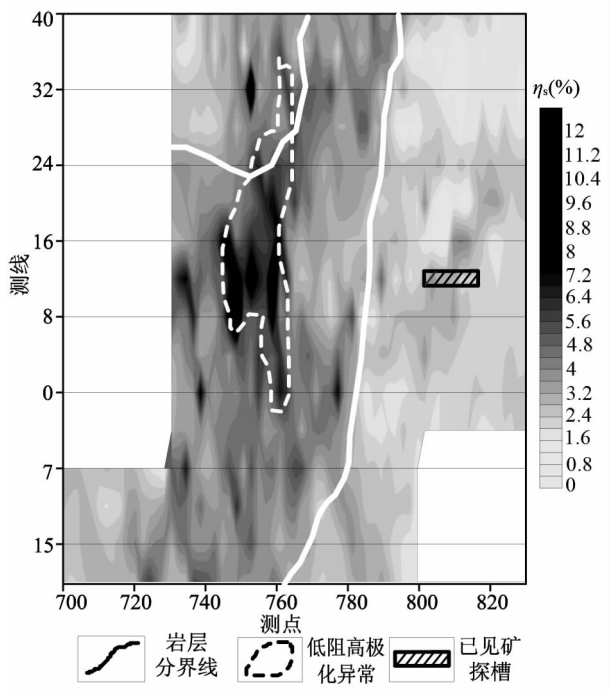


图 2 极化率异常平面等值线图
Fig. 2 Isoclines map of theanomaly

在工区 12 线 810 点附近的探槽中已经发现了

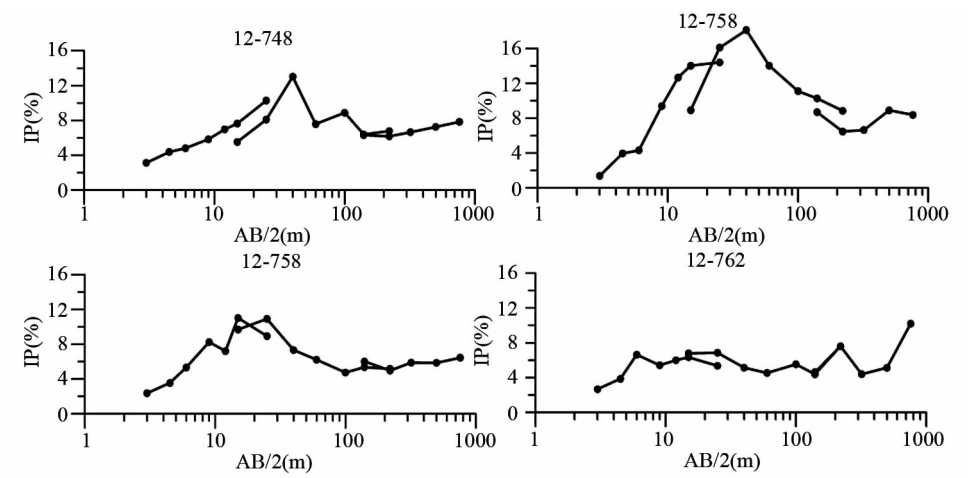


图 3 激电测深极化率曲线图

Fig. 3 Thecurve of the IP Sounding

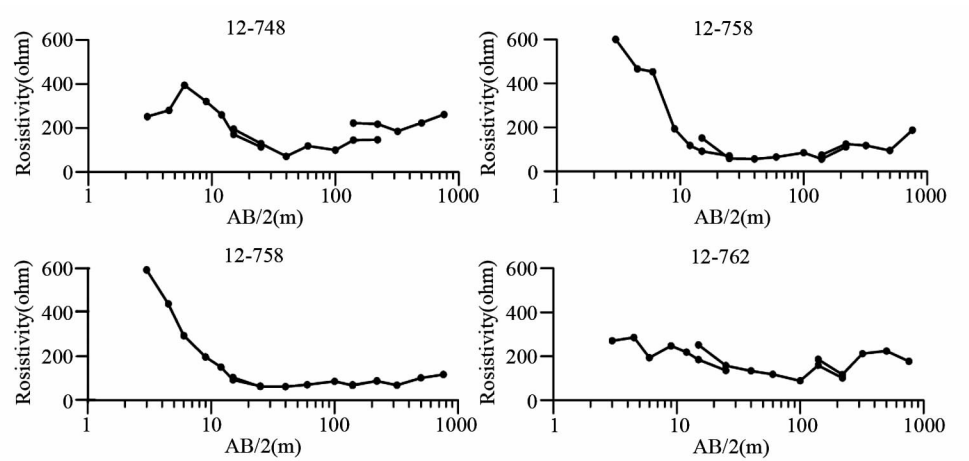


图 4 激电测深电阻率曲线图

Fig. 4 The curve of the IP Sounding

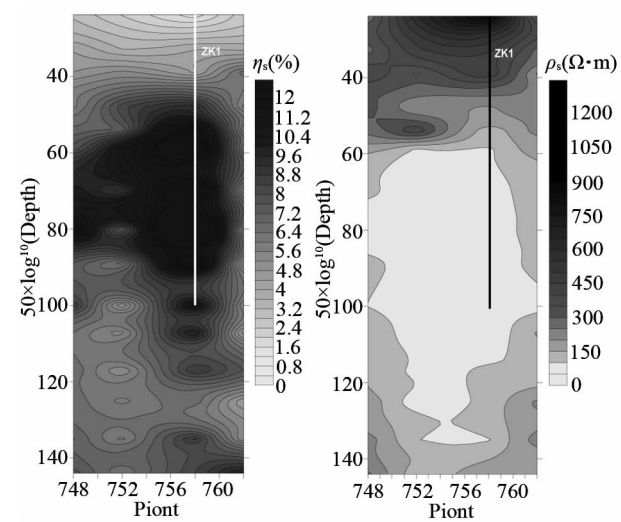


图 5 激电测深反演断面图

(左为极化率,右为电阻率)

Fig. 5 The inversed profile section map of IP sounding

铅锌矿化,银和铜的含量也都达到一定的水平.但我们可以看到,在 12 线 810 点附近,极化率只有 3.6%左右,不是很高,电阻率为 $300\ \Omega\cdot\text{m}$ 左右,处于中等水平.经过分析,认为探槽所处位置不是主矿体位置,初步讨论认为主矿体可能是区内出现的大规模与测线垂直的低阻高极化异常.

为了对区内的激电中梯主异常进行剖析,以了解是否为矿脉,以及其产状、埋深及连续性,选择了极化率异常最强的 12 线 748、752、758 以及 762 点进行激电测深,结果见图 3、图 4、图 5.

从图 3、图 4 可以看出,除 762 点外,其它几个测深点都是低阻高极化,根据测深曲线形态,748、752 和 758 点处于低阻高极化体在地面投影边缘,而 762 点已经出了低阻高极化体在地面投影的影响范围.用激电测深的不同特征点估算矿化体顶部埋

深的方法^[23~32],估算的埋深约在 40~50 m 左右。

二维电测深正演数字模拟技术及二维反演解释技术是提高勘探解释精度及地质解释的正确性重要手段之一。激电测深二维反演的技术和算法有很多,如最小二乘法、有限元法、遗传算法等^[27~29]。本文采用有限元方法对激电测深数据进行二维反演解释。反演结果见图 5。

图 5 中,X 轴为测点号,Y 轴为深度变换后的参量,具体公式表示为:

$$Y = 50 \log_{10}(\text{Depth}) .$$

从极化率反演断面图可以看出,762 点已出现极化率变小的趋势。758 点依然是异常最强的中心位置。从图中还可以看出,异常在深部有向大号点方向延伸的趋势。由于深度方向是对数坐标,图中不能准确读出倾角大小。图中极化率的延伸是有限深度的,并且各测深点之间的深度是比较一致的。758 点和 762 点位置,在大深度位置再次出现极化率高值,也是值得注意的现象。所以我们部署钻孔时,穿透下层高极化率深度。

基于对极化率异常平面图、电阻率异常平面图、极化率反演深度断面图和电阻率反演深度断面图的综合分析,认为该区存在热液型硫化物矿床的可能是很大的,建议布设钻孔验证。钻孔 ZK1 布设在 758 点右侧,向左侧打倾角为 83°的斜钻,在异常最大深部穿过矿脉(见图 5)。

根据地质资料和物探资料,预计在 90~110m 范围内见矿。经打钻验证,ZK1 从浅到深的矿化类型为锰帽、赤铁矿和白铅矿。锰帽最浅,部分出露地表。100 m 附近出现原生方铅矿。验证了大功率激电的解释结果,达到了预期的目标。

3 结 论

(1)激发极化法是探测金属矿的最有效方法之一。但随着找矿深度的增加、干扰信号的增强,勘探难度越来越大。传统的小功率直流激电法已无法满足找矿要求,而大功率激发极化法是更为有效的手段。

(2)由于区内排除了存在石墨化地层和碳质板岩的可能性,更有利于鉴别异常的性质。大功率激电中梯、激电测深以及地质资料的综合考虑,故推断异常由地下铅锌矿化引起。

(3)在大功率激电中梯和激电测深相结合的作用下,在该区找到了矿体,但考虑到区内的低阻高极化异常仍未封闭,为了扩大找矿成果,建议开展进一步。

参 考 文 献 (References):

[1] 傅良魁. 磁激发极化法探矿理论的几个问题[J]. 地球物理学报, 1979,22(2): 156~168.

[2] 张赛珍,王庆乙,罗延钟. 中国电法勘探发展概况[J]. 地球物理学报, 1994,37(s1): 408~423.

[3] 袁学诚. 金属矿地球物理勘探的三十年[J]. 地球物理学报, 1979,22(4): 364~369.

[4] В. Б. Черменинов; В. Е. Ланда; В. В. Топорков, 郭武林. 苏联巴列伊矿区石英-硫化物金矿床地球物理找矿模式[J]. 地球物理学进展, 1990, 22(2): 136~142.

[5] 王立群. 中国工程物探的现状与发展[J]. 地球物理学报, 1994,37(s1): 385~395.

[6] 陈绍裘,梅小明,肖志强. 用激电测深法探测白钨矿[J]. 中南工业大学学报, 2002, 33(6): 559~562.

[7] 陈绍裘,陈灿华. 激发极化法探测断裂蚀变带型金矿[J]. 中南工业大学学报, 2003, 34(6): 674~677.

[8] 张瑜麟. 河南省祁雨沟地区金矿物探找矿方法应用研究[J]. 中国地质, 2001, 28(12): 30~36.

[9] 胡云沪,罗先熔,王桂琴,等. 厚层覆盖区综合物化探方法找金试验研究—以文本兴安金石金矿为例[J]. 矿产与地质, 2002,16(5): 302~305.

[10] 郭文波,顾林生,宋建平,等. 激发极化法在缅甸曼德勒德碑甄矿区的应用效果[J]. 矿产与地质, 2004,18(4): 380~382.

[11] 李春成,朱春生,郑晓惠,等. 激发极化法在大架金矿床中的应用效果[J]. 黄金, 2006, 27(1): 10~13.

[12] 温佩琳,赵秋梅. 大深度激发极化法初步探讨[J]. 物探与化探, 1996, 20(5): 329~331.

[13] 张赛珍,李英贤,周季平,等. 激发极化法探测油气田—异常成因及其与油气藏关系的探讨. 地球物理学报,1986,29(6):142~151.

[14] 郑秀芬,李金铭. 油气电法勘探综述[J]. 地球物理学进展, 1997, 12(02): 89~96.

[15] 何展翔,贺振华,王绪本,等. 油气非地震勘探技术的发展趋势[J]. 地球物理学进展, 2002, 17(03): 473~479.

[16] 刘国兴,王喜臣,张小路,等. 大功率激电和瞬变电磁法在青海锡铁山深部找矿中的应用[J]. 吉林大学学报(地球科学版)2003, 33(4):551~555.

[17] 关键. 大功率激电在吉林某铜矿新一轮找矿中的应用[J]. 物探与化探, 2002, 26(5):364~367.

[18] 吴国学. 大功率激电法在团结沟金矿外围找矿中的应用[J]. 黄金, 1995,16(6): 2~6.

[19] 刘振山,张振邦. 大功率电法在国土资源大调查中的应用效果[J]. 矿产与地质, 2003, 17(s): 482~484.

[20] 刘建明等. 大兴安岭地区的区域成矿特征[J]. 地学前缘, 2004,11(1):269~278.

[21] 滕吉文,杨立强,姚敬全,刘宏臣,等. 金属矿产资源的深部找矿、勘探与成矿的深层动力过程[J]. 地球物理学进展,2007, 22(2):317~334.

[22] 高淑芳,崔军. 地质找矿过程中如何提高物探工作质量[J]. 地球物理学进展,2005,20(1):97~103.

[23] 傅良魁. 电法勘探教程[M]. 北京: 地质出版社, 1983.

[24] 何继善. 双频道激发极化法[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2002.

[25] 汤井田. 激发极化法资料的推断解释方法[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2002.

[26] 王继伦. 频域激发极化法中体极化与面极化内在联系的探讨[J]. 地球物理学报, 1989,32(5): 593~598.

[27] 傅良魁,傅平,邓明. 激发极化法基础理论研究——确定二次极化电流的新方法[J]. 地球物理学报, 1990,33(3): 153~162.

[28] 李晓波,朴化荣. 两层大地中三维体的激发极化与电阻率响应的积分方程模拟[J]. 地球物理学报, 1988,31(3): 342~352.

[29] 阮百尧,葛为中. 直流电阻率测深中对转换函数曲线的直接反演法[J]. 地球物理学报, 1999,42(s): 234~239.

[30] 王兴泰,李晓芹,孙仁国. 电测深曲线的遗传算法反演[J]. 地球物理学报, 1996,39(2): 279~285.

[31] 刘树才,李志聘. 电测深曲线二维反演技术及应用[J]. 地球物理学报, 1994,9(4): 98~106.

[32] 黄俊革,鲍光淑,阮百尧. 坑道直流电阻率测深异常研究. 地球物理学报, 2005, 48(1): 222~228.

请查阅本刊网站了解以下详细内容
(<http://www.progeophys.cn>)

本刊 2008 年征订启事

2008 年《地球物理学进展》为双月刊,每年 6 期,每期定价 35 元,全年定价为 210 元。

订刊联系方式

- (1) 本刊编辑部(邮局汇款与单位电汇均可)
- 汇款地址 100029 北京市 9825 信箱《地球物理学进展》编辑部
- 电话传真 010-82998113,010-82998105,010-62369620
- 联 系 人 刘少华,肖台琴,赵 雷
- 电子邮件 shliu@cgs.org.cn, geophys@163.com
- 网 站 <http://www.progeophys.cn>
- 开 户 行 中国农业银行北京建德支行 账 号 190901040000456
- 收款单位 中国科学院地质与地球物理研究所
- (务必在注释行写上:购《地球物理学进展》款,同时写上您的姓名和联系地址)
- (2) 天津全国非邮发联合证订服务部
- 邮编地址 300385 天津市大寺泉集北里别墅 17 号
- 电话传真 022-23973378,022-23962479
- 网 址 <http://www.LHZD.com>
- E - mail LHZD@public.tpt.tj.cn